

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-183716

(43)Date of publication of application : 09.07.1999

(51)Int.CI.

G02B 5/18  
G02B 5/32  
G03H 1/08  
G03H 1/16

(21)Application number : 09-354628

(71)Applicant : DAINIPPON PRINTING CO LTD

(22)Date of filing : 24.12.1997

(72)Inventor : TANIGUCHI YUKIO

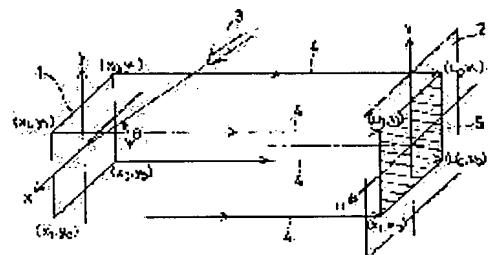
MORITA HIDEAKI  
ISHIKAWA TOSHIHARU

## (54) COMPUTER HOLOGRAM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a computer hologram easy in the preparation without requiring the use of an expensive hologram photosensitive material and the execution of hologram photographing.

**SOLUTION:** In a computer hologram 1 consisting of an aggregate of fine cells two-dimensionally arranged in an array shape, each cell has optical path length capable of providing each of an individual phase to reflected light and a phase distribution capable of substantially diffracting a light flux 3 made incident of a prescribed incident angle from the obliquely front of the hologram 1 in a prescribed observation area 5 formed in the front of the beam 3 and disabling to the light flux 3 from being substantially diffracted on the outside of the area 5.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.02.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-183716

(43)公開日 平成11年(1999)7月9日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18

G 0 2 B 5/18

5/32

5/32

G 0 3 H 1/08

G 0 3 H 1/08

1/16

1/16

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全8頁)

(21)出願番号

特願平9-354628

(71)出願人 000002897

大日本印刷株式会社

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号

(22)出願日 平成9年(1997)12月24日

(72)発明者 谷口幸夫

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号大

日本印刷株式会社内

(72)発明者 森田英明

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号大

日本印刷株式会社内

(72)発明者 石川俊治

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号大

日本印刷株式会社内

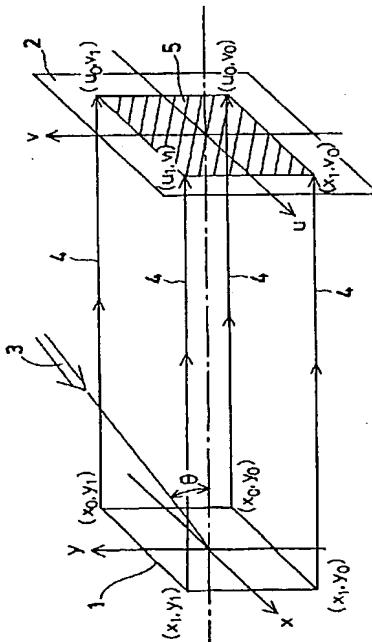
(74)代理人 弁理士 垣澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】 計算機ホログラム

(57)【要約】

【課題】 高価なホログラム感光材料を用いる必要がなく、ホログラム撮影を行う必要もなく、かつ、作製が容易な計算機ホログラム。

【解決手段】 2次元的にアレー状に配置された微小なセルの集合体からなる計算機ホログラム1であって、このセルは反射光に対して各自独自の位相を与える光路長を有しており、かつ、計算機ホログラム1の斜め前方から所定の入射角で入射する光束3をその前方の所定の観察域5内に実質的に回折し、その観察域5外には実質的には回折しないような位相分布を有している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 2次元的にアレー状に配置された微小なセルの集合体からなる計算機ホログラムであって、前記セルは反射光若しくは透過光に対して各々独自の位相を与える光路長を有しており、かつ、垂直に入射する光束を所定の観察域内に実質的に回折し、その観察域外には実質的には回折しないような第1の位相分布と、斜めから所定の入射角で入射する光束を垂直に出射するような第2の位相分布とを加算して得られる位相分布を有していることを特徴とする計算機ホログラム。

【請求項2】 前記セルは縦横に基盤の目状に配置されていることを特徴とする請求項1記載の計算機ホログラム。

【請求項3】 基板の表面に凹凸のレリーフパターンが設けられ、その上に反射層が設けられてなることを特徴とする請求項1又は2記載の計算機ホログラム。

【請求項4】 反射型液晶表示装置の背面に反射板として配置されていることを特徴とする請求項1から3の何れか1項記載の計算機ホログラム。

【請求項4】 反射型液晶表示装置の液晶層と背面基板の間に反射板として配置されていることを特徴とする請求項1から4の何れか1項記載の計算機ホログラム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、計算機ホログラムに関し、例えば反射型液晶表示装置の背面に配置して明るい表示が可能の計算機ホログラムに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、反射型液晶表示装置は、図10に示すように、マット処理したアルミニウム等の金属板からなる反射拡散板31を液晶表示素子40の観察側とは反対側に配置してなるもので、液晶表示素子40の表示側から入射する照明光32をその裏面に配置した反射拡散板31で前方へ拡散反射させ、明所で自発光型のバックライトを使用することなしに表示が可能なものである。ここで、液晶表示素子40は、例えば、2枚のガラス基板41、42の間に挟持されたツイストネマチック等の液晶層45からなり、一方のガラス基板42内表面には一様な透明対向電極44が設けられ、他方のガラス基板41内表面には画素毎に独立に透明表示電極43と不図示のブラック・マトリックスが設けられている。なお、カラー表示装置の場合は、他方のガラス基板41内表面には液晶セルR、G、B毎に独立に透明表示電極43とカラーフィルター、ブラック・マトリックスが設けられている。また、電極43、44の液晶層45側には不図示の配向層も設けられており、さらに、観察側ガラス基板41外表面には偏光板46が、観察側とは反対側のガラス基板42外表面には偏光板47がそれぞれ貼り付けられており、例えばそれらの透過軸は相互に直交す

るよう配置されている。このような液晶表示素子40の透明表示電極と透明対向電極間に印加する電圧を制御してその透過状態を変化させることにより、数字、文字、記号、絵柄等が選択的に表示が可能なものである。

【0003】このような反射型液晶表示装置は、バックライトを必要としないため消費電力が小さくてよい利点はあるものの、外光により表示させるため、表示が見難い。また、照明光下においても、反射強度が最も強い正反射方向においては、液晶表示装置での表面反射によりコントラストが著しく低下してしまう問題がある。

【0004】このような問題を解決するために、WO96/37805等においては、透過型体積ホログラムと反射層を組み合わせた反射板を用いるものが提案されている。この反射板は、体積型ホログラム感光材料を用いて撮影する場合、回折効率は所定波長において100%を達成できるから、特定波長域では高回折効率であると言える。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような体積型ホログラムを用いる方法では、高価な体積型ホログラム感光材料を用いなければならず、また、二光束干渉によるホログラム撮影を行わなければならいため、必ずしも量産性に優れたものとは言えなかった。

【0006】また、体積型ホログラムでは、波長選択性という特定の波長だけが強く回折するという特性があり、表示に色がついてしまう問題があった。

【0007】本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、所定の入射角で入ってくる光を所定の限定された範囲に回折する反射板あるいは透過板を計算機ホログラムによって実現することであり、高価なホログラム感光材料を用いる必要がなく、また、ホログラム撮影を行う必要もなく、かつ、作製が容易な計算機ホログラムを提供することである。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の計算機ホログラムは、2次元的にアレー状に配置された微小なセルの集合体からなる計算機ホログラムであって、前記セルは反射光若しくは透過光に対して各々独自の位相を与える光路長を有しており、かつ、垂直に入射する光束を所定の観察域内に実質的に回折し、その観察域外には実質的には回折しないような第1の位相分布と、斜めから所定の入射角で入射する光束を垂直に出射するような第2の位相分布とを加算して得られる位相分布を有していることを特徴とするものである。

【0009】この場合、セルは縦横に基盤の目状に配置されていることが望ましい。具体的には、例えば、基板の表面に凹凸のレリーフパターンを設け、その上に反射層を設けることによって、本発明の計算機ホログラムを構成することができる。

【0010】本発明の計算機ホログラムは、例えば、反

射型液晶表示装置の背面に反射板として配置することができる。また、反射型液晶表示装置の液晶層と背面基板の間に反射板として配置することができる。

【0011】本発明においては、2次元的にアレー状に配置された微小なセルの集合体からなり、そのセルは反射光若しくは透過光に対して各自独自の位相を与える光路長を有しており、かつ、垂直に入射する光束を所定の観察域内に実質的に回折し、その観察域外には実質的には回折しないような第1の位相分布と、斜めから所定の入射角で入射する光束を垂直に出射するような第2の位相分布とを加算して得られる位相分布を有しているので、この計算機ホログラムを例えれば反射型液晶表示装置の反射板として用いることにより、液晶表示素子の表示側から斜めに入射する照明光をその前方の所定の観察域へのみ拡散反射させ、明所で自発光型のバックライトを使用することなしに明るい表示が可能なものを構成することができる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の計算機ホログラム\*

$$h(x, y) = A_{Holo}(x, y) \exp(i\phi_{Holo}(x, y)) \quad \dots (1)$$

$$f(u, v) = A_{Img}(u, v) \exp(i\phi_{Img}(u, v)) \quad \dots (2)$$

と書ける。ここで、 $A_{Holo}(x, y)$  はホログラム面での振幅分布、 $\phi_{Holo}(x, y)$  はホログラム面での位相分布、 $A_{Img}(u, v)$  は再生像面での振幅分布、 $\phi_{Img}(u, v)$  は再生像面での位相分布である。

\*の原理と実施例について説明する。いま、あるホログラムを考え、それからの再生距離がホログラムの大きさに比べて十分に大きい場合であってホログラム面に垂直に平行光で照明した場合、再生像面で得られる回折光は、ホログラム面での振幅分布及び位相分布のフーリエ変換で表される（フランホーファー回折）。

【0013】そこで、従来、再生像面に所定の回折光を与えるために、ホログラム面と再生像面との間で束縛条件を加えながらフーリエ変換と逆フーリエ変換を交互に繰り返しながらホログラム面に配置する計算機ホログラムを求める方法が、Gershberg-Saxton 反復計算法として知られている（例えば、日本光学会（応用物理学会）主催 第22回冬期講習会テキスト「ホログラムと回折型光学素子—基礎理論から産業応用まで」pp. 36~39）。

【0014】ここで、ホログラム面での光の分布を  $h(x, y)$ 、再生像面での光の分布を  $f(u, v)$  とすると、

$$f(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \exp\{-i(ux+vy)\} dx dy \quad \dots (3)$$

$$h(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(u, v) \exp\{i(ux+vy)\} du dv \quad \dots (4)$$

となる。

【0016】ここで、今後の議論を分かりやすくするため、ホログラム面での  $A_{Holo}(x, y)$  を "HoloAmp"、ホログラム面での  $\phi_{Holo}(x, y)$  を "HoloPha"、再生像面での  $A_{Img}(u, v)$  を "ImgAmp"、再生像面での  $\phi_{Img}(u, v)$  を "ImgPha" で表現する。

【0017】本発明においては、まず、この Gershberg-Saxton 反復計算法を利用して、背後からホログラム面に垂直に平行光で照明した場合に所定の観察域へのみ光を回折する計算機ホログラムを得ることを考える。図1は、このためのフローチャートであり、ステップ①で、ホログラム面領域  $x_0 \leq x \leq x_1, y_0 \leq y \leq y_1$  で、ホログラムの振幅 HoloAmp を 1 に、ホログラムの位相 HoloPha をランダムな値に初期化して、ステップ②で、その初期化した値に上記式 (3) のフーリエ変換を施す。ステップ③で、フーリエ変換で得られた再生像面での振幅 ImgAmp が所定の領域、例えば  $u_0 \leq u \leq u_1, v_0 \leq v \leq v_1$  内で略一定値になり、その所定

領域外で略 0 になったと判断された場合は、ステップ①で初期化した振幅と位相が所望の計算機ホログラムとなる。ステップ③でこのような条件が満足されないと判断された場合は、ステップ④で束縛条件が付与される。具体的には、上記の所定領域内では再生像面での振幅 ImgAmp は 1 にされ、その外では 0 にされ、再生像面での位相 ImgPha はそのままに維持される。そのような束縛条件が付与された後、ステップ⑤で、上記式 (4) のフーリエ逆変換が施される。そのフーリエ逆変換で得られたホログラム面での値は、ステップ⑥で束縛条件が付与され、振幅 HoloAmp は 1 にされ、位相 HoloPha は多值化（元の関数をデジタルな階段状の関数に近似（量子化））される。なお、位相 HoloPha が連続的な値を持ってもよい場合は、この多值化は必ずしも必要ない。そして、ステップ⑦でその値にフーリエ変換が施され、ステップ⑧で、フーリエ変換で得られた再生像面での振幅 ImgAmp が所定の領域、例えば  $u_0 \leq u \leq u_1, v_0 \leq v \leq v_1$  内で略一定値になり、その所定領域外で略 0 になったと判断さ

れた場合は、ステップ⑥で束縛条件が付与された振幅と位相が所望の計算機プログラムとなる。ステップ③でこのような条件が満足されないと判断された場合は、ステップ④→⑤→⑥→②→③のループがステップ③の条件が満足されるまで（収束するまで）繰り返され、最終的な＊

$$(評価関数) = 1/N^2 \times \sum |A_{\text{target}}(u, v) - \langle A_{\text{target}}(u, v) \rangle|$$

ただし、 $u$ 、 $v$ に関する $\Sigma$ （和）は、 $u_0 \leq u \leq u_1$ 、 $v_0 \leq v \leq v_1$ 内のプログラムのセルにおける値の和を取ることを意味し、 $\langle A_{\text{IMG}}(u, v) \rangle$ はそのセル内における理想的な振幅である。この（評価関数）が例えば0.01以下になることをもって収束したと判断す※

$$(評価関数) = 1/N^2 \times \sum |A_{img-1}(u, v) - A_{img-1-1}(u, v)|$$

ここで、 $A_{\text{ING}_{i-1}}(u, v)$  は前回の振幅の値、 $A_{\text{ING}_i}(u, v)$  は今回の振幅の値である。

【0020】ところで、上記のようにして得られた計算機プログラムは位相HoloPhaのみが分布している位相板であるが、この計算機プログラムは、背後からプログラム面に垂直に平行光で照明した場合に所定の観察域（上記の $u_0 \leq u \leq u_1$ ,  $v_0 \leq v \leq v_1$ 内）へのみ光を回折する計算機プログラムである。しかし、図10のような液晶表示素子40の反射拡散板31とするには、背後から斜めに入射した光を所定の前方の観察域へ回折するものでなければならない（透過型から反射型へ変更する操作については後述）。そこで、本発明においては、図1の手順で得られた位相分布に、このような背後から斜★30

$$\sin \theta = \lambda / d$$

の回折条件を満足するものであり、また、階段状の関数に近似するときの間隔△は、計算機プログラムのセルの寸法である。

【0022】図2(c)は、図2(a)の位相分布 $\phi_{HOLO}$ と位相回折格子の位相分布 $\phi_{GRAT}$ とを足し合わせてなる計算機プログラムの位相分布 $\phi$ を表す図である。ただし、 $\phi = \phi_{HOLO} + \phi_{GRAT}$ が $2\pi$ 以上の場合には(図の破線)、 $\phi - 2\pi$ を新たなる $\phi$ としている。この位相分布 $\phi$ を有する計算機プログラムが、本発明の目的とする背

$$D(x, y) = \lambda \phi(x, y) / (4\pi)$$

$$D(x, y) \equiv \lambda \phi(x, y) / \{2\pi(p_+ - p_-)\} \quad \dots \quad (8b)$$

ここで、 $\lambda$  は使用中心波長、 $n_1, n_2$  は透過型ホログラムを構成する 2 つの材質の屈折率である。

【0025】反射型の場合、図3(a)に断面図を示すように、基板10の表面に上記式(8a)で求めたD(x, y)の深さのレリーフパターン11を形成し、そのレリーフパターン11上にアルミニウム等の反射層12を設けることによって本発明の計算機プログラム1が得られる。透過型の場合、図3(b)に断面図を示すよ

\*所望の計算機プログラムが得られる。

【0018】ここで、ステップ③で、再生像面で振幅Im $gAmp$ が略所定の値に収束したと判断する評価関数としては、例えば次のようなものを用いる。

※ 3

10 【0019】この他、計算ループの反復の前回の振幅の値と今回の値の差を用いた次のような評価関数を用いることもできる。

• • • (5)

### ・・・ (6)

〔0021〕図2はその様子を示す図であり、図2(a)は図1の計算に従って得られたホログラム面に垂直に平行光で照明した場合に所定の観察域へのみ光を回折する計算機ホログラムの位相分布 $\phi_{HOL}$ を表す図であり、図2(b)は背後から入射角 $\theta$ で入射した光を正面方向へ回折する位相回折格子の位相分布(図中の破線)をデジタルな階段状の関数に近似した位相分布 $\phi_{GRAT}$ を表す図である。図2(b)中の位相回折格子の格子間隔 $d$ は、波長を $\lambda$ として

• • • (7)

☆後から斜めに入射角  $\theta$  で入射した光を所定の前方の観察域へ回折する計算機プログラムである

〔0023〕このようにして求めた位相分布から、実際のホログラムの深さ分布を求めるが、これは反射型と透過型で異なる。図2 (c) の  $\phi(x, y)$  を、反射型の場合は次の式 (8a) に基づいて、透過型の場合は次の式 (8b) に基づいて、計算機ホログラムの深さ  $D(x, y)$  に変換する。

[0024]

卷之三 (83)

$$2\pi (p_1 - p_2) \} \quad \ldots \quad (8b)$$

うに、上記式(8b)で求めたD(x, y)の深さのレリーフパターン11を形成することによって本発明の計算機ホログラム1が得られる。図4にこの計算機ホログラム1の平面図を示す。この計算機ホログラム1は縦横N×M(図4の場合は16×16)の基盤の目状に配置された縦横寸法が△の微小なセル13の集合体からなり、各セル13がそれぞれ式(8a)もしくは(8b)で与えられる深さD(x, y)を有している。

【0026】図5に以上のようにして得られた本発明に基づく計算機ホログラム1の作用を反射型について模式的に示す。図中、符号2が再生像面であり、前方から入射角 $\theta$ で入射する所定波長の照明光3は計算機ホログラム1で回折光4として前方へ回折され、再生像面2中の所定の反射域5へ達し、その領域外にはほとんど達しないものである。したがって、このような計算機ホログラム1を例えば図10に示した反射型液晶表示装置の反射拡散板31として用いることにより、液晶表示素子40の表示側から入射する照明光32をその前方の所定の観察域へのみ拡散反射させ、明所で自発光型のバックライトを使用することなしに明るい表示が可能なものとなる。

【0027】また、このような計算機ホログラム1は、図11に示したように、反射型液晶表示装置の液晶層45と背面基板42'の間に反射板として配置してもよい。この場合は、計算機ホログラム1の反射層12が光反射性電極44'を兼ねることになる。

【0028】次に、具体的な1つの実施例を説明する。図5の計算機ホログラム1としては縦横 $16 \times 16$ の基盤の目状のセルに量子化し、再生像面2も同様に縦横 $16 \times 16$ の基盤の目状のセルに量子化し、再生像面2の反射域5をその縦横 $16 \times 16$ の中央の縦横 $10 \times 10$ とする場合の、図1のループを360回回した結果得られた図2(a)ホログラム面の位相分布 $\phi_{HOLO}$ と、図2(b)の位相回折格子の位相分布 $\phi_{GRAT}$ と、それらを足し合わせた図2(c)の位相分布 $\phi_{HOLO}$ と、そのような位相分布 $\phi_{HOLO}$ を与える本発明の計算機ホログラム1による再生像面2での振幅分布ImgAmpの例をそれぞれ図6、図7、図8、図9に示す。ただし、図8においては、位相を $-\pi$ から $\pi$ の間で16段階に量子化をしている。この例から明らかなように、本発明に基づいて計算機ホログラムを構成すると、斜めに前方から入射する照明光をその前方の所定の観察域へのみ拡散反射させることができ、明るい表示等が可能になる。なお、この実施例は、本発明の計算機ホログラム1が具体的に演算可能であることを示すための例にすぎず、実際の計算機ホログラム1を構成するには、セルの数、回折格子の格子の本数をケタ違いに増加させて演算する。

【0029】以上、本発明による計算機ホログラムを原理と実施例に基づいて説明してきたが、これらの限定されず種々の変形が可能である。また、本発明の計算機ホログラムは、反射型液晶表示装置用の反射板以外にも、例えば表示用の反射板等に用いることが可能である。また、本発明の計算機ホログラムは反射板だけでなく、反射層12を設けないで透過型として透過板として構成してもよい。

【0030】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の計算機ホログラムによると、2次元的にアレー状に配

置された微小なセルの集合体からなり、そのセルは反射光若しくは透過光に対して各自独自の位相を与える光路長を有しており、かつ、垂直に入射する光束を所定の観察域内に実質的に回折し、その観察域外には実質的には回折しないような第1の位相分布と、斜めから所定の入射角で入射する光束を垂直に出射するような第2の位相分布とを加算して得られる位相分布を有しているので、この計算機ホログラムを例えば反射型液晶表示装置の反射板として用いることにより、液晶表示素子の表示側から斜めに入射する照明光をその前方の所定の観察域へのみ拡散反射させ、明所で自発光型のバックライトを使用することなしに明るい表示が可能なものを構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の計算機ホログラム反射板を構成する計算機ホログラムを得るためのフローチャートである。

【図2】図1の計算機ホログラムの位相分布、位相回折格子の位相分布及びそれらの和の位相分布を表す図である。

【図3】本発明の計算機ホログラムの構成を示す断面図である。

【図4】本発明による計算機ホログラムの平面図である。

【図5】本発明による計算機ホログラムの作用を模式的に示す図である。

【図6】具体的な1実施例のホログラム面の位相分布を示す図である。

【図7】具体的な1実施例の位相回折格子の位相分布を示す図である。

【図8】具体的な1実施例のホログラム面の位相分布と位相回折格子の位相分布の和を示す図である。

【図9】具体的な1実施例の再生像面での振幅分布を示す図である。

【図10】反射型液晶表示装置の構成を示す断面図である。

【図11】本発明に基づく計算機ホログラム反射板を適用した別の反射型液晶表示装置の構成を示す断面図である。

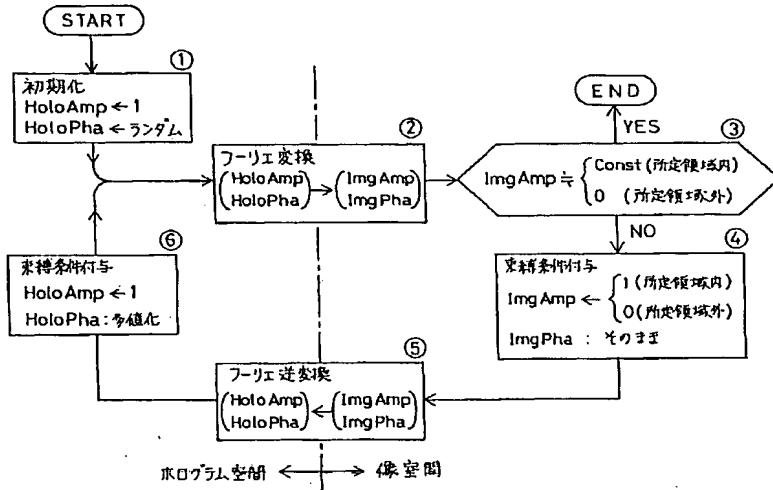
【符号の説明】

40	1…計算機ホログラム
	2…再生像面
	3…照明光
	4…回折光
	5…反射域
	10…基板
	11…レリーフバターン
	12…反射層
	13…セル
	31…反射拡散板
50	32…照明光

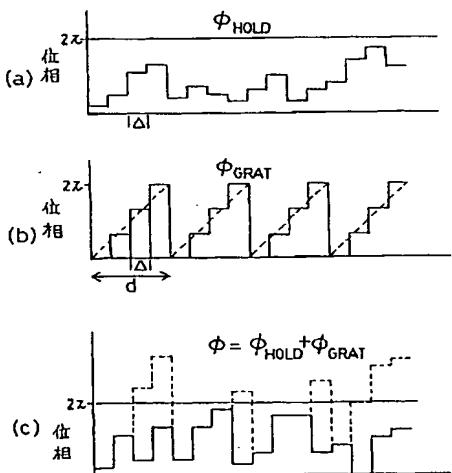
4 0 … 液晶表示素子  
 4 1、4 2 … ガラス基板  
 4 3 … 透明表示電極  
 4 4 … 透明対向電極

\* 4 5 … 液晶層  
 4 6、4 7 … 偏光板  
 4 2' … 背面基板  
 \* 4 4' … 反射性電極

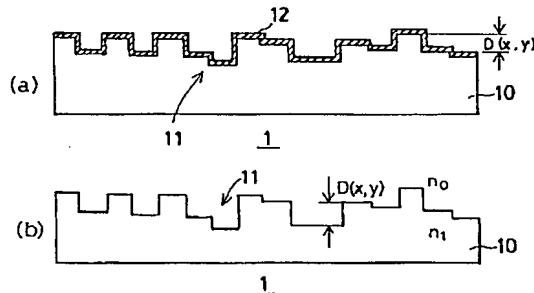
【図1】



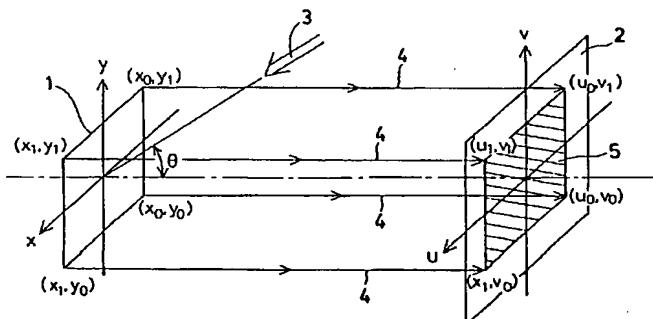
【図2】



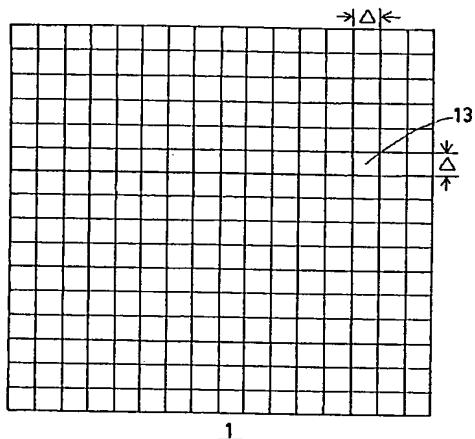
【図3】



【図5】

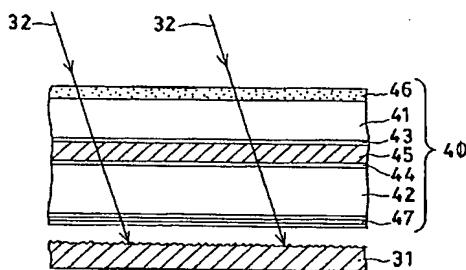


【図4】



1

【図10】



【図6】

0.67-0.94-2.34 1.98 1.83 3.02 2.92 0.55 0.25-0.05-0.52-0.67-0.95-1.69-2.40 1.69  
 -0.94-2.11 2.97 1.68 1.05 0.75 1.33 1.72 0.97-0.55-0.58 0.36-0.26-2.18 2.57 0.98  
 -2.34 2.97 0.42 0.18 0.50-0.28-0.44 1.46 1.79-2.32-2.49 1.26 1.67 2.73 1.04-0.18  
 1.98 1.68 0.18 0.20 0.41-1.38-1.59 0.93 1.17-2.93 3.07 1.30 1.62 2.15 1.13 0.64  
 1.83 1.05 0.50 0.41-0.04-0.86 2.92 1.86-0.34-1.59 2.06 0.96 0.12 1.05 1.45 1.82  
 3.02 0.75-0.28-1.38-0.86-0.58 2.73 2.36-0.67-1.20 2.20 1.37-0.15 0.12 0.65-2.91  
 2.92 1.33-0.44-1.59 2.92 2.73-2.07-1.74 0.47 0.40-2.83 2.90 1.25 0.25-0.83-1.95  
 0.55 1.72 1.46 0.93 1.86 2.36-1.74-1.27 0.86 0.70-1.80-2.83 1.71 0.99-0.78-0.52  
 0.25 0.97 1.79 1.17-0.34-0.67 0.47 0.86 2.80 3.10-0.84-0.92 2.30 1.99-0.92-0.64  
 -0.05-0.55-2.32-2.93-1.59-1.20 0.40 0.70 3.10-3.10-1.04-1.17 2.64 2.38-2.17-1.99  
 -0.52-0.58-2.49 3.07 2.06 2.20-2.83-1.80-0.84-1.04-2.20-2.90 2.02 2.20-2.87-2.03  
 -0.67 0.36 1.26 1.30 0.96 1.37 2.90-2.83-0.92-1.17-2.90 2.36 1.53 2.02 3.10-1.74  
 -0.95-0.26 1.67 1.62 0.12-0.15 1.25 1.71 2.30 2.64 2.02 1.53 1.61 2.39-2.97-2.34  
 -1.69-2.18 2.73 2.15 1.05 0.12 0.25 0.99 1.99 2.38 2.20 2.02 2.39 2.80-3.08-2.02  
 -2.40 2.57 1.04 1.13 1.45 0.65-0.83-0.78-0.92-2.17-2.87 3.10-2.97-3.08-0.36-0.91  
 1.69 0.98-0.18 0.64 1.82-2.91-1.95-0.52-0.64-1.99-2.03-1.74-2.34-2.02-0.91-0.70

【図7】

0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71  
 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71 0.00 1.57 3.14 4.71



【図8】

0.39 0.39 0.79 0.39 1.57-1.96-0.39-1.18 0.00 1.18 2.36-2.36-1.18-0.39 0.39 0.00  
 -1.18-0.79-0.39 0.00 0.79 1.96-1.96 0.00 0.79 0.79 2.36-1.57-0.39-0.79-0.79-0.79  
 -2.36-1.96-2.75-1.57 0.39 1.18 2.36-0.39 1.57-0.79 0.39-0.39 1.57-2.36-2.36-1.96  
 1.96-3.14-3.14-1.57 0.39 0.00 1.18-0.79 0.79-1.57-0.39-0.39 1.57-2.75-2.36-1.18  
 1.57 2.36-2.75-1.18-0.39 0.39-0.39 0.00-0.39-0.39-1.18-0.79 0.00 2.36-1.96 0.00  
 2.75 1.96 2.75-3.14-1.18 0.79-0.79 0.79-0.79 0.00-1.18-0.39-0.39 1.57-2.75 1.57  
 2.75 2.75 2.36 2.75 2.75-2.36 0.79 2.75 0.39 1.96 0.00 1.18 1.18 1.57 1.96 2.75  
 0.39-3.14-1.96-0.79 1.57-2.36 1.18-3.14 0.79 1.96 1.18 1.57 1.57 2.36 2.36-2.36  
 0.00 2.36-1.57-0.79-0.39 0.79-2.75-0.79 2.75-1.96 1.96-2.75 1.96-2.75 1.96-2.36  
 -0.39 0.79 0.79 1.57-1.96 0.00-2.75-1.18 2.75-1.57 1.96-2.75 2.36-2.36 0.79 2.36  
 -0.79 0.79 0.39 1.18 1.96-2.75 0.00 2.75-1.18 0.39 0.79 1.57 1.96-2.75 0.00 2.36  
 -0.79 1.57-1.96-0.39 0.79 2.75-0.39 1.57-1.18 0.39 0.00 0.39 1.18-2.75-0.39 2.75  
 -1.18 1.18-1.57 0.00 0.00 1.18-1.96 0.00 1.96-2.36-1.18-0.39 1.57-2.36 0.00 2.36  
 -1.96-0.79-0.79 0.39 0.79 1.57-3.14-0.79 1.96-2.36-1.18 0.39 2.36-1.96 0.00 2.36  
 -2.75-2.36-2.36-0.79 1.18 1.96 1.96-2.36-1.18-0.79 0.00 1.18-3.14-1.57 2.75-2.75  
 1.57 2.36 2.75-1.18 1.57-1.57 1.18-2.36-0.79-0.79 0.79 2.75-2.36-0.79 1.96-2.36

【図9】

0.02 0.01 0.01 0.00 0.01 0.01 0.02 0.00 0.01 0.00 0.01 0.00 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.02 0.01 0.01 0.01 0.00 0.01 0.01 0.01 0.02 0.01 0.02 0.01 0.02 0.02 0.02  
 0.01 0.01 0.02 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.02 0.02 0.02 0.01 0.02 0.01 0.01  
 0.00 0.01 0.01 0.09 0.11 0.09 0.10 0.11 0.10 0.10 0.09 0.10 0.09 0.01 0.02 0.01  
 0.01 0.01 0.01 0.11 0.10 0.08 0.10 0.10 0.10 0.11 0.09 0.10 0.09 0.01 0.01 0.00  
 0.01 0.00 0.01 0.09 0.08 0.12 0.10 0.11 0.11 0.10 0.09 0.09 0.10 0.00 0.01 0.01  
 0.02 0.01 0.01 0.10 0.10 0.10 0.12 0.09 0.10 0.08 0.09 0.09 0.10 0.00 0.01 0.01  
 0.00 0.01 0.01 0.11 0.10 0.11 0.09 0.11 0.11 0.10 0.10 0.10 0.09 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01 0.10 0.10 0.11 0.10 0.11 0.10 0.10 0.10 0.09 0.09 0.02 0.01 0.01  
 0.00 0.02 0.02 0.10 0.11 0.10 0.08 0.10 0.10 0.09 0.09 0.10 0.09 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.02 0.09 0.09 0.09 0.09 0.10 0.10 0.09 0.09 0.10 0.10 0.00 0.01 0.01  
 0.00 0.02 0.02 0.10 0.10 0.09 0.10 0.10 0.09 0.10 0.10 0.09 0.12 0.02 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01 0.09 0.09 0.10 0.09 0.09 0.09 0.09 0.10 0.12 0.10 0.02 0.00 0.03  
 0.01 0.02 0.02 0.01 0.01 0.00 0.01 0.01 0.02 0.01 0.00 0.02 0.02 0.02 0.01 0.01  
 0.01 0.02 0.01 0.02 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.00 0.01 0.02 0.00  
 0.01 0.02 0.01 0.01 0.00 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.03 0.01 0.00 0.01

【図11】

